

State of the art of railway induced vibration
november 2017

UIC Network Noise and Vibration

Paul de Vos





JBV, DB, SNCF, ÖBB, Trafikverket, SNCF, CDVUZ, PKP, SBB, Liikennevirasto, SNCB, ProRail

UIC, the worldwide professional association representing the railway sector and promoting rail transport

12 landen; meestal verschillende grootheden, normen en meetmethodes





Samenvatting rapport:

- Treinverkeer kan in woningen veroorzaken:
 - lichte, voelbare **trillingen** (voor personen die *rechttop staan*)
 - een donker, bromachtig, laagfrequent **geluid** (meestal re-radiated)
 - **rammelen** van potten en pannen e.d. ●
 - **zorg** over risico van schade

Oorspronkelijk vooral bij tunnels (metro), nu ook steeds meer bovengronds railverkeer

“Anders dan vaak gedacht wordt, veroorzaakt railverkeer geen grote schade aan gebouwen, en slechts zelden ‘cosmetische’ schade”. (Zweden en België, ≥ 5 mm/s)



het probleem is **hinder** (en **slaapverstoring**) en ook **bezorgdheid (gezondheid)** ●
Er zijn nog geen eenduidige dosiseffectrelaties waarop een norm kan worden gebaseerd

Stijve bodem → “hoge” frequentie (~50 Hz)

Slappe bodem → “lage” frequentie (~5 Hz)

} maatgevend voor het type maatregelen



Samenvatting (vervolg):

Bron = wiel-rail contact(en), d.w.z. **railoneffenheden**, dwarsliggerafstand, "**hangers**", voegen en wissels, enkelvoudige vering, **onronde wielen, polygonisatie, vlakke plaatsen**

Systeem: wiel-rail → baanlichaam → bodem → fundering → leefruimte (evt opslingering)

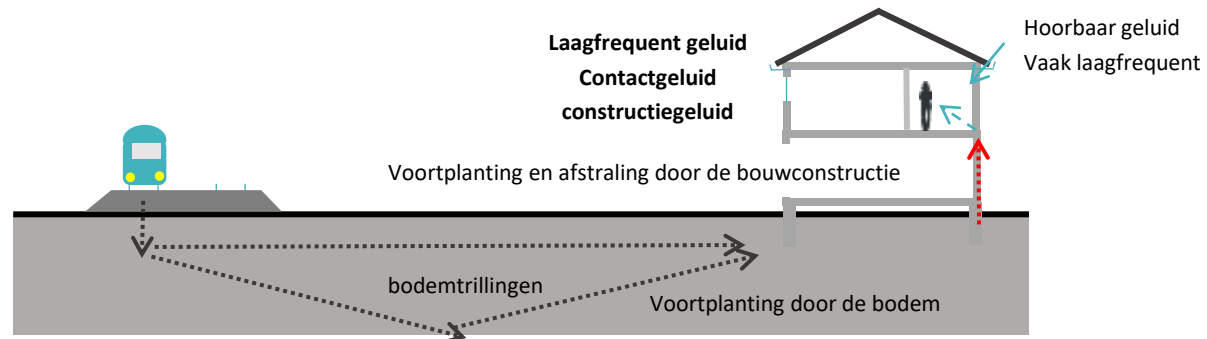
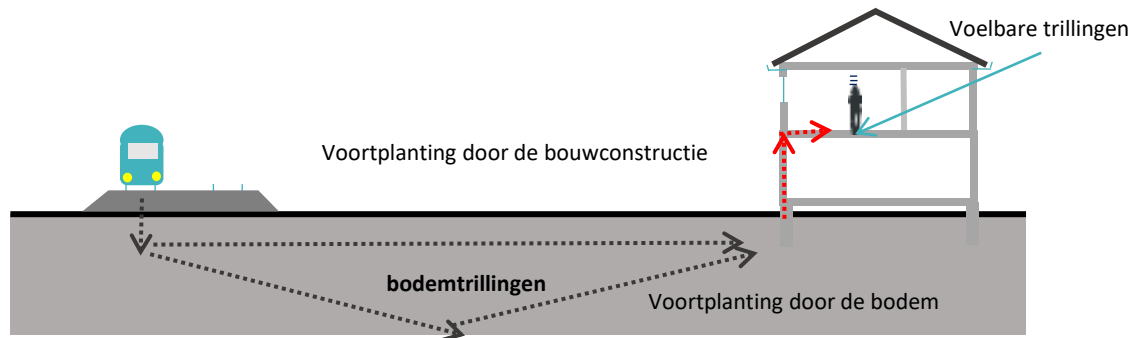
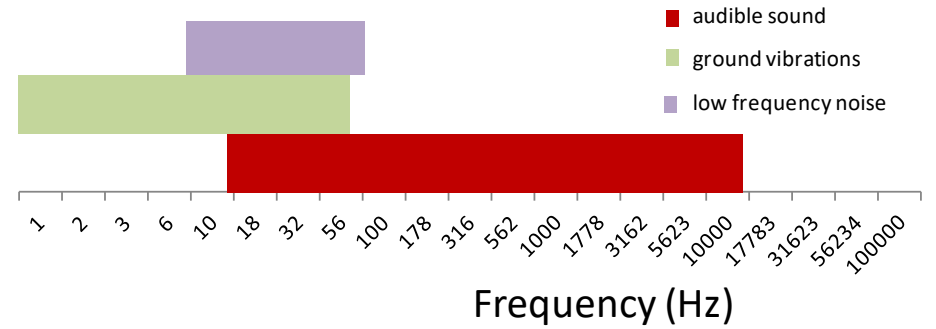
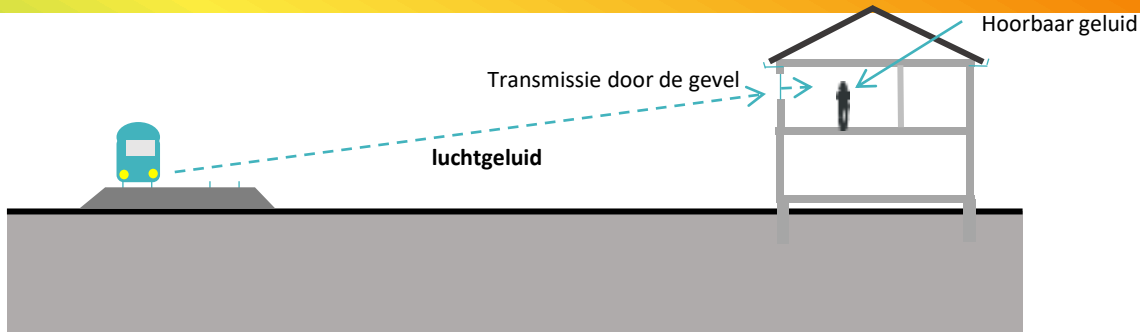
NB. 3 typen golven lopen , met verschillende voortplantingssnelheid, door een bodem die in het ene geval sterk kan afwijken van een ander geval

Vergelijk geluidvoortplanting: in de buitenlucht altijd longitudinale golf door hetzelfde medium!!

Lokale factoren: mede daarom is voorspelling moeilijk en zijn uitkomsten (zeer) onzeker.

In bestaande situaties: meten i.p.v. rekenen of in combinatie

In de meeste landen: alleen normen voor ***nieuwe of drastisch gewijzigde*** situaties (alleen aan het spoor, of ook in (nieuwe) gebouwen bij het spoor?)





| Voertuig snelheid | 40 km/u | 80 km/u | 160 km/u |
|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Moving load (as-afstand ca. 1.8 m) | 3 Hz | 5 Hz | 11 Hz |
| Oneffenheden rail | ≥ 1 Hz ≤ 100 Hz | ≥ 2 Hz ≤ 200 Hz | ≥ 4 Hz ≤ 400 Hz |
| rail"singulariteiten", wissels en voegen | breedbandig | breedbandig | breedbandig |
| Golfslijtage | ca. 500 Hz | ca. 1000 Hz | ca. 2000 Hz |
| wielruwheid | ≥ 4 Hz | ≥ 8 Hz | ≥ 15 Hz |
| wiel onrondheid | ≥ 6 Hz | ≥ 12 Hz | ≥ 24 Hz |
| Wiel polygonisatie (met gollengte 0.1m) | ca. 100 Hz | ca. 200 Hz | ca. 400 Hz |
| Draaistel-afstand (ca. 8 m) | ca. 1 Hz | ca. 3 Hz | ca. 5 Hz |
| Dwarsligger- afstand (0.6 m) | veelvouden van 16 Hz | veelvouden van 32 Hz | veelvouden van 64 Hz |

Frequenties van trillingen bij verschillende oorzaken en snelheden



| Quantity | reference | symbol | unit |
|---|----------------|----------------------|---------------------------------------|
| rms weighted acceleration | | a_{eff} | m/s^2 |
| rms vibration velocity | | v_{eff} | m/s |
| maximum rms vibration velocity | | $v_{\text{eff,max}}$ | m/s |
| maximum rms vibration velocity level | | VdB | dB |
| Vibration dose value | BS6472 | VDV | $\text{m/s}^{1.75}$ |
| Particle velocity | BS7385 | pvth | m/s |
| Maximum transient vibration value (running rms) | ISO 2631 | | |
| Vibration dose value | ISO 2631 | VDV | $\text{m/s}^{1.75}$ |
| Maximum acceleration | Ö Norm S 9012 | E_{max} | m/s^2 |
| Risk of exceeding a limit value by 5% | NS 8176 | $V_{w,95}$ | mm/s |
| Mean equivalent acceleration | Ö Norm S 9012 | E_r | m/s^2 |
| Maximum weighted rms acceleration level | UNI 9614 | L_{aW} | $\text{dB re } 10^{-6} \text{ m/s}^2$ |
| Maximum weighted rms velocity level | SS 460 4861 | L_{vW} | $\text{dB re } 10^{-9} \text{ m/s}$ |
| Maximum weighted vibration strength | DIN 4150 | $KB_{F\text{max}}$ | - |
| Mean vibration strength | DIN 4150 | KB_{FTr} | - |

1

2

3

^[1] Note that in some indicators a reference value of the logarithm is used of 10^{-6} inch/sec. This means that these levels are 28 dB lower than the dB velocity levels with reference 10^{-9} m/sec

^[2] Note the different exponent of this quantity

^[3] Note the different exponent of this quantity

Gebruikte eenheden en grootheden voor de beschrijving van trillingssterkte.
 NB1. In Nederland (SBR-B) zijn v_{max} en v_{per} dimensieloos
 NB2. Ook de meetmethodes, meetperiodes e.d. verschillen (sterk)!

} Vergelijking is moeilijk of ónmogelijk



Beleving van trillingen ●

De mens is vaak blootgesteld aan allerlei soorten trillingen. We onderscheiden bijv.

- Hand arm trillingen (boormachine of mixer) – in ernstige gevallen “witte vingers”
- Whole body vibration (staand naast een wasmachine; zittend in een rijdende auto; liggend in bed [???)

Vaak ongemerkt, geen last, geen hinder (bijv lift)

Vaak samen met (hoorbaar) geluid, waardoor soms maskering optreedt

EU project Cargovibes:

Bij $v_{\max} = 0,1$ m/s ca 3% ernstig gehinderd, bij $v_{\max} = 1$ m/s ca 15% ernstig gehinderd

NB! RIVM 2014 (wonen langs het spoor)

bij $v_{\max} = 0,1$ m/s 20% ernstig gehinderd, bij $v_{\max} = 1$ m/s ca. 35% ernstig gehinderd

Vergelijking met geluidshinder (WHO rapport richtlijnen, pag 54)

Bij $L_{\text{den}} = 48$ dB ca. 3% ernstig gehinderd, bij $L_{\text{den}} = 58$ dB ca. 15% ernstig gehinderd



Welke norm? ●

- maximum, gemiddelde of allebei?
- Middelen over welke tijdsduur (uur, dag, etmaal, jaar?)
- Trillingsnelheid of trillingsversnelling?
- Schade of hinder? Of allebei?
- Dag of nacht? Of allebei?
- Meetpositie? (fundering of slaapkamer?), midden op de vloer?
- Juist waarneembaar of "acceptabele hinderscore"?
- In bestaande situaties of alleen bij nieuwe situaties?
- In NL Bts bij Tracébesluit SBR richtlijnen en doelmatigheidstoets

Waarnemen bij ca 0,1 mm/s (rms). Dit is ook de "streefwaarde" in Bts

Cardiovasculaire reacties bij ca. 0,3 mm/s

Ontwaakreacties bij ca. 0,8 mm/s
[DIN 4150]

Maatregelen

Bij de bron, in het overdrachtspad of bij de ontvanger?

| | | |
|--------------|--|---|
| Bron: | Snelheidsverlaging | ? |
| | Wielonderhoud | ✓ |
| | Intensiteitsverlaging | ? |
| | voertuigontwerp (geometrie, vering) | ✓ |
| | spooronderhoud | - |
| | railbevestiging | - |

Soms wel, soms niet + nadelen
ook andere voordelen
wel voor gemiddelde, niet voor piek

frequentiegebied
onwaarschijnlijk



Vanguard (Pandrol)



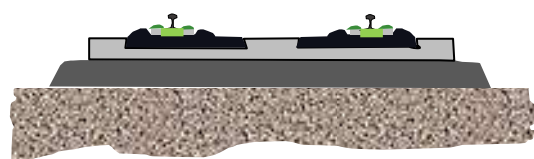
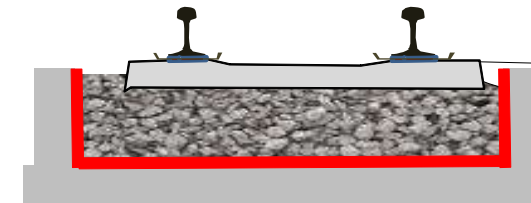
Maatregelen

Bij de bron, in het overdrachtspad of bij de ontvanger?

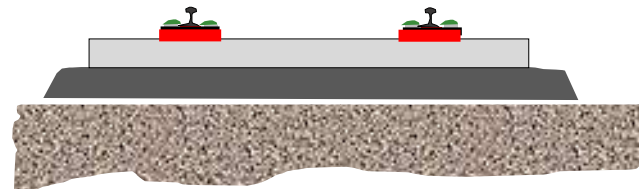
Bron: **Under Sleeper Pad ?** **Frequentie 80-100 Hz**

Ballast mat ✓ **in tunnels**

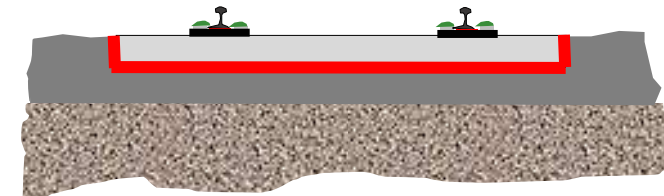
Slab Track ✓



Slab track (non-ballasted track)
here: Rheda



Slab track resilient base
plates

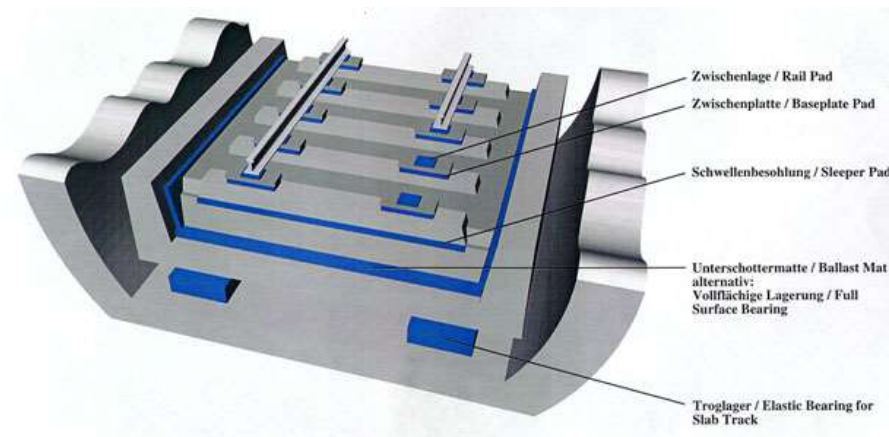


Lost form under sleeper mat

Maatregelen

Bij de bron, in het overdrachtspad of bij de ontvanger?

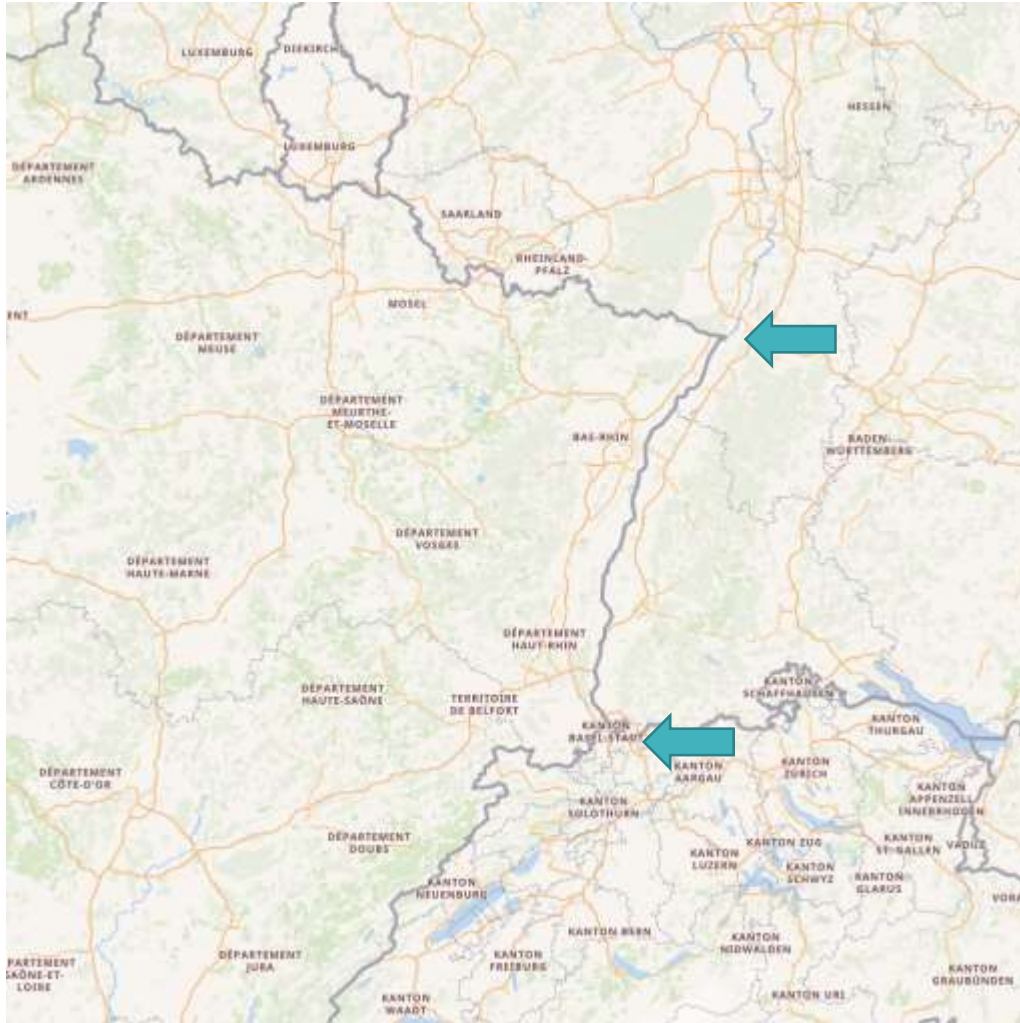
Massa veer systeem



Floating slab track (Getzner)



Trillingsisolatoren
In de fundering
(Gerb)



Neubaustrecke Karlsruhe-Basel

200 km
3 tunnels

Rastatt tunnel: 4 km
Offenburg tunnel: 11 km
Katzenberg tunnel: 9 km

High speed en goederen

In elke tunnel massa veer systemen



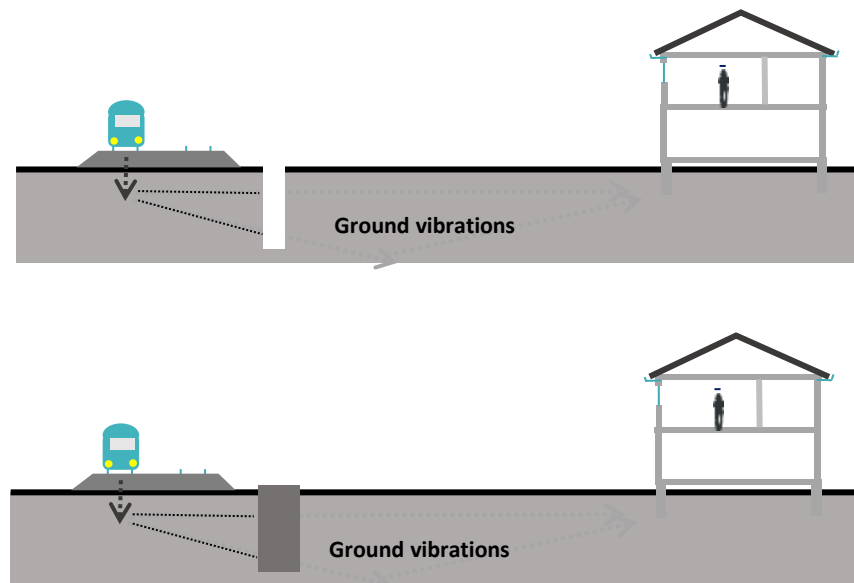
Maatregelen

Bij de bron, in het overdrachtspad of bij de ontvanger?

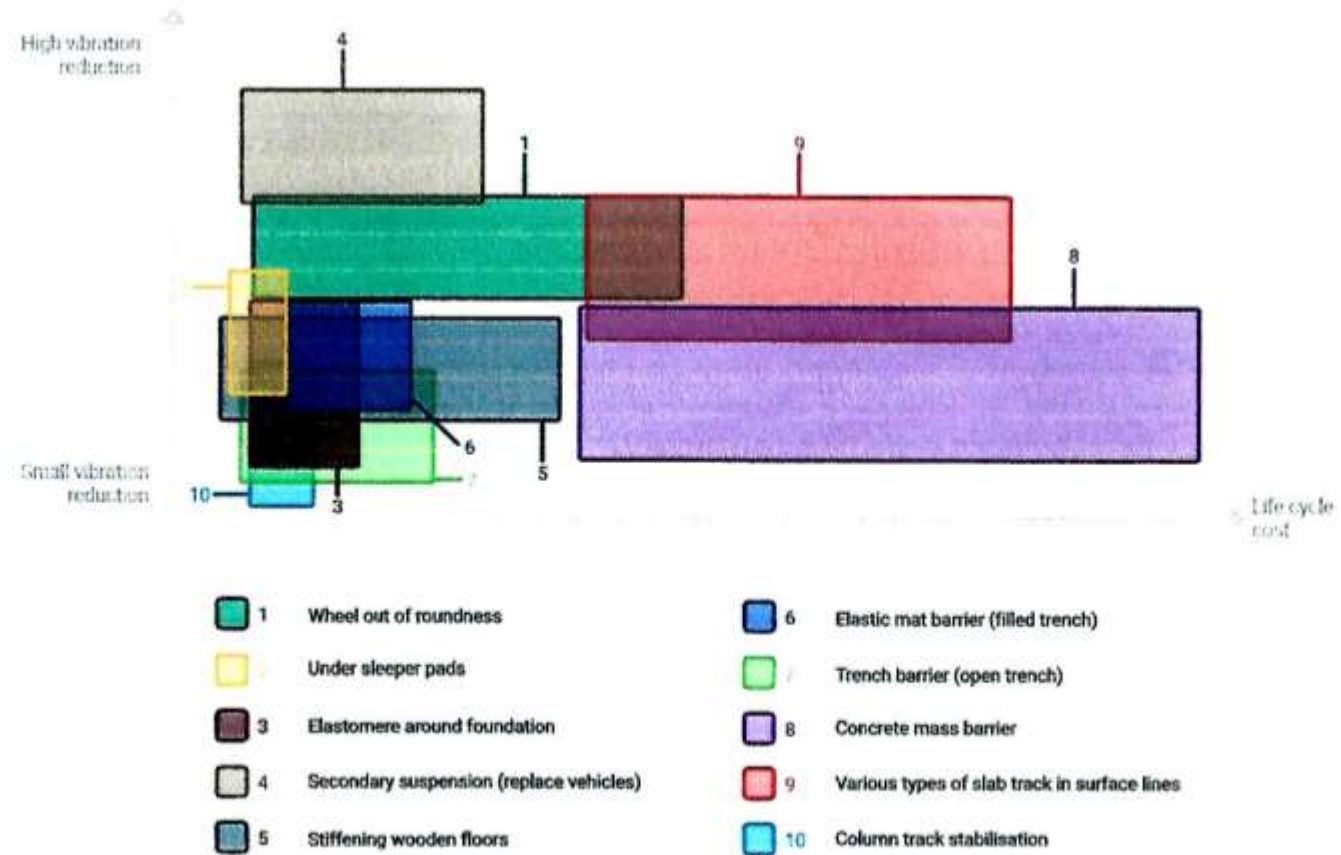
In het spoorlichaam: Stabiliseren



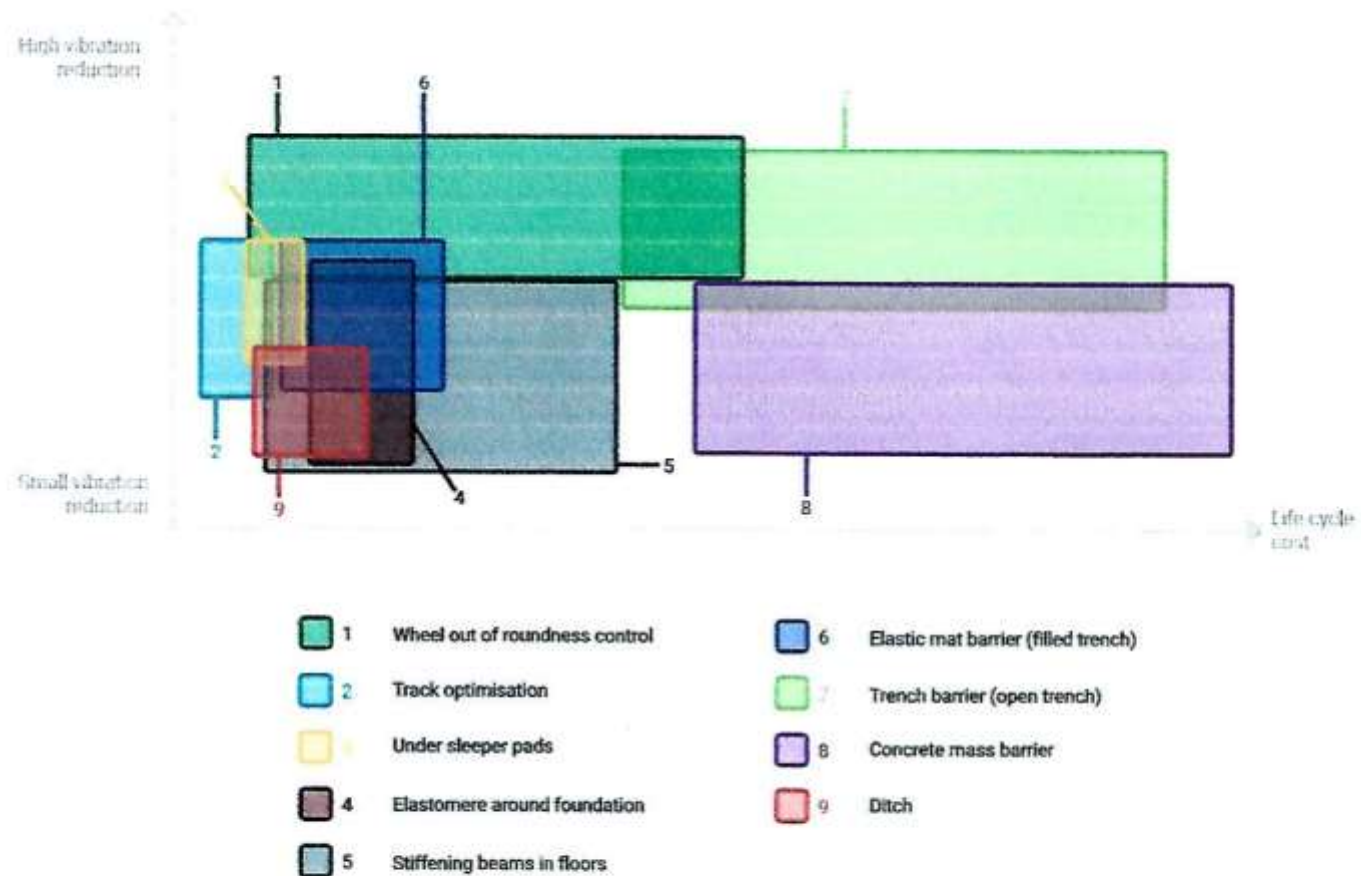
Daarbuiten: sleuven en blokken



Maatregelen en kosten Nieuwe situaties NB. Zeer indicatief!



Maatregelen en kosten NB. Zeer indicatief! Bestaande situaties



● Conclusies (NB niet uit het state of the art rapport):

Voor een volwaardige beheersing is regelgeving en handhaving nodig

Regelgeving stelt o.a. regels over

- De effecten die we willen beheersen (trillingen, geluid, zorg, rammelen)
- De normen die we daarom stellen
- De wijze waarop we kritische nieuwe situaties identificeren (prognosemodel en ijking daarvan); en
- Vaststellen van overschrijdingen in bestaande situaties (d.m.v. meetmethode; d.w.z. grootte, meetplaats(en), meetduur, tijdstip)
- De toedeling en begrenzing van verantwoordelijkheid (bijv ProRail is niet verantwoordelijk voor de kwaliteit van gebouwen langs het spoor; meetpunt op de fundering)
- De gewenste doelmatigheid van maatregelen en de consequenties als er geen doelmatige maatregelen zijn.